UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

DIE INDUCTION

IM PACINOTTI-GRAMME'SCHEN RING.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

MATHEMATISCHEN UND
NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

AUGUST ISENBECK

AUS WIESBADEN.

MIT 14 HOLZSCHNITTEN.

BERLIN 1883.

GEDRUCKT IN DER REICHSDRUCKEREI.

Verlagsbuchhandlung von Julius Springer in Berlin N.

UNTERSUCHUNGEN

ÜBER

DIE INDUCTION

IM PACINOTTI-GRAMME'SCHEN RING.

INAUGURAL-DISSERTATION

DER

MATHEMATISCHEN UND
NATURWISSENSCHAFTLICHEN FACULTÄT

DER

KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

VORGELEGT VON

AUGUST ISENBECK

AUS WIESBADEN.

MIT 14 HOLZSCHNITTEN.

BERLIN 1883.

GEDRUCKT IN DER REICHSDRUCKEREI.

Die folgenden Untersuchungen wurden im physikalischen Institut der Universität Strafsburg angestellt. Meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. Kundt, der mich dabei so wesentlich mit Rath und That unterstützte, spreche ich an dieser Stelle meinen aufrichtigsten Dank aus.

§ 1. Einleitung.

In den letzten Jahren wurden zahlreiche experimentelle Untersuchungen mit den neueren dynamoelektrischen Maschinen angestellt. Fast sämmtliche Arbeiten über diesen Gegenstand beschäftigen sich jedoch nur damit, den Totalstrom, den eine solche Maschine liefert, zu messen und seine Abhängigkeit von der Drehungsgeschwindigkeit und anderen Umständen zu ermitteln.

Ueber die Frage, wie sich der Strom, welcher in einer einzelnen Spule des Pacinotti-Gramme'schen Ringes bei seiner Rotation entsteht, auf die verschiedenen Punkte ihrer Bewegung vertheilt, ist eine ausführlichere Untersuchung bisher nicht angestellt worden.

In den Lehrbüchern der Elektrotechnik wird das Prinzip der elektrodynamischen Maschinen mit konstantem Strome gewöhnlich an einem einfachen Schema demonstrirt, bei dem eine Spule sich über einen Eisenring bewegt, welcher zwischen zwei Magnetpolen sich befindet.

Bei den wirklichen Maschinen sind diese Magnete stets mit mehr oder minder grofsen Polschuhen versehen. Die Erfahrung hat gezeigt, dafs unter Benutzung letzterer die Wirkung der Maschine eine erheblich bessere ist, als ohne

dieselben. In neuerer Zeit hat man ferner begonnen, diese Polschuhe bis ins Innere des Ringes fortzusetzen, so dafs sie diesen wenigstens theilweise umfassen, und endlich auch versucht, die Wirksamkeit der Dynamomaschinen dadurch zu erhöhen, dafs man ins Innere des rotirenden Ringes noch einen Magnet bringt.

Um eine eingehende Kenntnifs von dem Einflufs und der Wirkung dieser verschiedenen Anordnungen zu erhalten, kann es nicht genügen, in den verschiedenen Fällen nur den Gesammtstrom der Maschine zu betrachten; es ist wünschenswerth und wichtig, zu wissen, welche Gröfse der Strom auf den einzelnen Stellen des rotirenden Ringes bei den verschiedenen Formen der Maschine hat. Eine Untersuchung hierüber mufs, wenn die Resultate derselben direkt technische Bedeutung haben sollten, selbstverständlich an Maschinen der verschiedensten Konstruktionen ausgeführt werden.

Handelt es sich nur darum, die Erscheinungen in allgemeinen Zügen festzustellen, so wird es genügen, die Versuche an einem einfachen Maschinenmodell (gewissermafsen einem Schema der Dynamomaschinen) auszuführen, an welchem leicht und bequem die verschiedenen Formen der wirklichen Maschinen annähernd nachgebildet werden können.

Ich habe mich darauf beschränkt, nur Versuche nach dem Schema der Gramme'schen Maschine anzustellen, und habe den Fall der Siemens'schen dynamoelektrischen Trommelmaschine (System von Hefner-Alteneck) nicht untersucht.

Auf Veranlassung von Herrn Prof. Dr. Kundt habe ich mit einem solchen Modell, welches mir derselbe angab, eine Reihe von Versuchen angestellt, die, wenn ihnen ein direkter Werth

für die Technik auch nicht zukommt, doch einen nicht unwichtigen Einblick in die Wirksamkeit der Dynamomaschinen bieten.

Das Modell erlaubte, die Induktion auf einer kreisförmigen Ringbahn zu untersuchen, welche sich zwischen zwei Magnetpolen befindet; es konnten sodann an die Pole Polschuhe gesetzt werden, ferner in den Ring eine Eisenscheibe gebracht und endlich auch letztere durch einen Magnet ersetzt werden. Auf der Ringbahn selbst befand sich entweder ein nicht magnetischer Körper oder, wie bei den Dynamomaschinen, ein Eisenring.

Ich gebe nun zunächst eine Beschreibung des von mir benutzten Apparates.

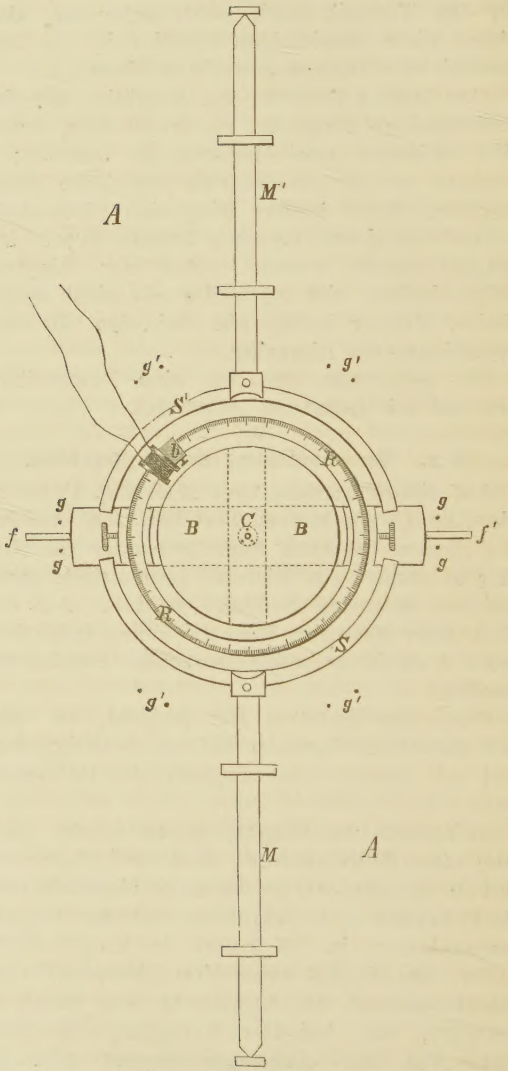
§ 2. Beschreibung des Apparates.

Auf einem starken Bret AA (Fig. 1) ist um die Axe C ein kleines Bretchen BB drehbar. Auf diesem Bretchen kann entweder ein Holzring R oder ein diesem geometrisch genau gleicher Eisenring befestigt werden. Auf dem Holz- oder Eisenring kann die kleine Induktionsspule b an jeder beliebigen Stelle festgeklemmt werden.

Wird das Bretchen BB gedreht, so dreht sich mit demselben der auf ihm befestigte Ring und mit diesem auch zugleich die Induktionsspule.

Aufserhalb des Ringes, genau in der Richtung eines Durchmessers, sind zwei Magnete M und M' angebracht, an denen nöthigenfalls noch die Polschuhe S, S' angebracht werden können. Ferner konnte in das Innere des Ringes R entweder ein Magnet oder eine Eisenscheibe gebracht werden; die Anordnung war indefs so getroffen, dafs bei der Bewegung des Bretchens BB der eingelegte Magnet oder die

Fig. 1.



Eisenscheibe in Ruhe blieben. Ist nun die Spule b an einer bestimmten Stelle des mit einer Kreistheilung[1]) versehenen Holz- oder Eisenringes eingestellt, und wird das Bretchen $B\,B$ mit Ring und Spule um einen kleinen Winkel gedreht, so entsteht in der Spule ein Induktionsstrom, der an einem Galvanometer gemessen werden kann.

Um die Spule stets um einen gleichen Winkel zu drehen, befinden sich an dem Bretchen $B\,B$ zwei kleine Messingstiftchen f, f'; zu beiden Seiten derselben sind in das Bret $A\,A$ messingene Stifte g, g eingeschlagen. Die Spule wurde nun so gedreht, dafs sich die Stifte f zwischen den Anschlägen g in der einen oder anderen Richtung bewegten. Indem die Spule nach einander auf verschiedenen Stellen des Ringes befestigt wurde, konnte so unter den verschiedenen Bedingungen die Induktion auf der ganzen Ringbahn untersucht werden.

Bezüglich der Dimensionen und Details mögen die folgenden Angaben genügen:

Die Magnete M und M' sind 250 mm lange, 15 mm dicke zylindrische, an beiden Enden zugespitzte Stäbe; sie haben gleiches magnetisches Moment und sind mit ungleichnamigen Polen einander zugekehrt. Der Abstand der gegenüberstehenden Pole ist 180 mm. Die spitze Form der Magnete wurde gewählt, um den Fehler der Abweichung der magnetischen Axe der Stäbe von ihrer geometrischen Axe möglichst zu vermeiden, dann auch deswegen, weil es bei den Versuchen darauf ankommt, dafs ein Durchmesser des Ringes genau in die Verbindungslinie der Pole beider Magnete eingestellt werden kann, was bei der

[1]) Die Ringe werden stets so eingestellt, dafs die Punkte 0° und 180° den Magnetpolen gerade gegenüberstehen.

gewählten Form der Magnete leicht zu machen ist. Die Polschuhe S sind aus weichem Eisen gearbeitet und konnten mittels Messingschrauben befestigt werden. Der Querschnitt der Polschuhe ist der gleiche, wie der des Holz- bezw. Eisenringes; sie umgeben letzteren in einem Abstande von 8 mm und lassen bei 90° bezw. 270° ein Stück von 20° frei. In ihrer Mitte laufen dieselben in ein dickeres zylindrisches Eisenstück aus, welches eine Einbohrung in Gestalt der zugespitzten Magnetenden hat und in welche letztere genau einpassen. Der innere Durchmesser beider Ringe beträgt 14 mm, der äufsere 16 mm; ihr Querschnitt ist quadratisch. Beide Ringe waren auseinandernehmbar, und es war auf diese Weise möglich, ein und dieselbe Spule b auf beiden Ringen zu benutzen.

Bemerken will ich noch, dafs aufser den um 90° von den Magnetpolen entfernten Anschlagstiften g noch zwei Paar ebensolche Anschläge g' auf dem Bret angebracht waren, welche um 60° von den erst erwähnten abstehen und ebenso weit wie diese von dem Drehpunkte C sowie unter einander entfernt sind. Das Bretchen $B\,B$ wurde dann so eingelegt, dafs sich die Stifte f, f' zwischen diesen Anschlägen bewegen konnten, wenn die Stellen des Ringes untersucht werden sollten, welche gegen 90° von den Magnetpolen entfernt sind.

Die Gröfse der jedesmaligen Drehung der Induktionsspule folgt aus:

Entfernung der Anschlagstifte g, g 20,5 mm,
Abstand vom Drehpunkt C 166 mm,
$\phi = 7^\circ\,5'$.

Um die Ströme, welche in der Induktionsspule b bei ihrer Bewegung vor den Magnetpolen entstehen, zu messen, benutzte ich ein Edelmann'sches Galvanometer. Die Schwingun-

gen des Magnetes in demselben wurden durch übergeschobene Kupferhülsen mäfsig gedämpft und die Schwingungsdauer durch einen Astasirungsmagnet stark vergröfsert.

Es wurde ermittelt:

Dämpfungsverhältnifs $K = 1{,}048$,

Schwingungsdauer $T = 8{,}_2^s$.

Die Ablenkungen wurden durch Spiegelablesung mittels eines Skalenfernrohres beobachtet.

Galvanometer sowie Fernrohr hatten eine feste, vor Erschütterungen gesicherte Aufstellung in einer gegenseitigen Entfernung von $3{,}_{23}$ m. Der eigentliche Apparat war so aufgestellt, dafs man gleichzeitig bequem mit der linken Hand das Holzbretchen mit Ring und Spule bewegen und durch das Fernrohr beobachten konnte. Da der zu messende Induktionsstrom selbst in den günstigsten Fällen nur einen geringen Ausschlag im Galvanometer hervorbrachte, so empfahl es sich, bei allen Versuchen die Multiplikationsmethode anzuwenden. Es wurde also, nachdem durch die Bewegung der Spule ein erster Ausschlag im Galvanometer hervorgebracht worden war, beim nächsten Durchgange des Nullpunktes der Skala durch das Fadenkreuz des Fernrohres die Induktionsspule in entgegengesetzter Richtung bewegt; hierdurch entsteht ein dem ersten entgegengesetzter Induktionsstrom, wodurch also die Schwingungsamplitude vergröfsert wird. In dieser Weise wurde so lange fortgefahren, bis die Schwingungsamplitude konstant war. Es ist unnöthig, aus den durch Multiplikation erhaltenen Grenzbogen den ersten Ausschlag zu berechnen, da es uns hier nur darauf ankommt, das Verhältnifs der Intensitäten der Induktionsströme zu ermitteln, welche in den verschiedenen Lagen der Spule

zu den Magnetpolen bei ihrer Bewegung auftreten, und die Grenzbogen den ersten Ausschlägen proportional sind.

Ich gebe schliefslich noch das Verhältnifs der magnetischen Momente der zylindrischen Stäbe zu dem des Magnetes an, der innerhalb des Holz- oder Eisenringes angebracht werden konnte. Das Verhältnifs des magnetischen Momentes der Magnete zur Horizontalkomponente des Erdmagnetismus wurde durch Ablenkungsversuche bei verschiedenen Entfernungen in der ersten Hauptlage bestimmt.

$$\frac{M}{T} = \frac{1}{2}\,\frac{r^5 \operatorname{tg}\varphi - r_1{}^5 \operatorname{tg}\varphi_1}{r^2 - r_1{}^2},$$

zylindrische Magnete:

$r = 555{,}0\ \varphi = 20^\circ$ $\quad \frac{M}{T} = 29\,003\,000.$

$r_1 = 479{,}5\ \varphi_1 = 30^\circ$

Innerer Magnet:

$r = 314{,}0\ \varphi = 20^\circ$ $\quad \frac{M_1}{T} = 5\,499\,600.$

$r_1 = 270{,}0\ \varphi_1 = 30^\circ$

Durch Division der Werthe von $\frac{M}{T}$ und $\frac{M_1}{T}$ erhält man:

$$\frac{M}{M_1} = 5{,}27.$$

§ 3. Anordnung der Versuche.

Die Versuche wurden nun in der Aufeinanderfolge angestellt, wie sie das folgende Schema angiebt, und zwar wurden für jede bestimmte Stellung der Induktionsspule zu den Magnetpolen gleich für die mit *a*, *b* und *c* (α und β) bezeichneten Fälle die Beobachtungen hinter einander ausgeführt.

I. Magnete ohne Polschuhe:

1. mit Holzring, 2. mit Eisenring.

II. Magnete mit Polschuhen:
1. mit Holzring, 2. mit Eisenring.
a) ohne Einlage,
b) mit Eisenscheibe,
c) mit innerem Magnete,
α) den Magneten gleichnamige,
β) den Magneten ungleichnamige Pole zukehrend.

§ 4. Versuche ohne Polschuhe.

I. Induktionsspule auf dem Holzringe.

Der Holzring wurde so eingestellt, dafs der Nullpunkt der Gradtheilung dem einen und der Punkt 180° dem anderen Magnetpole genau gegenüberstand, und dafs alsdann die Anschlagstifte *f* sich in der Mitte zwischen den Anschlägen *g* bei 90° und 270° befanden.

Die Tabelle I. giebt das Resultat der Beobachtungen. Die erste Vertikalkolumne enthält die Angabe des Gradtheiles auf dem Holzring, auf den die Mitte der Induktionsspule eingestellt war; die zweite Hauptkolumne A. giebt die Ausschläge im Galvanometer in Millimetern, nachdem dieselben konstant geworden waren, und zwar für den Fall, dafs sich im Innern des Ringes keine Einlage befand; die dritte Kolumne B. zeigt den Fall, wo eine Scheibe von weichem Eisen, die vierte und fünfte Kolumne C. und D. endlich den, wo der erwähnte Magnet eingelegt war. Letzterer wurde einmal so angebracht, dafs er den äufseren Magneten gleichnamige Pole zuwendete; diese Stellung ist in der Tabelle mit *N, N* bezeichnet oder so, dafs er den äufseren Magneten ungleichnamige Pole zukehrte, welche Stellung mit *N, S* bezeichnet ist.

Es sollen zunächst die Beobachtungen, bei denen sich innerhalb des Holzringes keine Ein-

lage befindet (Hauptkolumne A.), etwas näher diskutirt werden. Fig. 2 giebt eine graphische Darstellung derselben. Die Abszissen geben die Gradtheile des Holzringes, auf welche die Induktionsspule eingestellt war, die Ordinaten die in diesen Positionen erhaltenen Ausschläge in Millimetern an. Bei 0° zeigt sich ein Maximum, von dem die Kurve schnell abfällt. (Die Ordinaten bei 0° und 180° sind wegen Mangels an Raum weggelassen.) Bei etwa 10° geht sie durch 0 zu negativen Werthen über, erreicht bei 20° ein negatives Maximum und nähert sich dann langsam der Abszissenaxe, die sie bei 90° erreicht.

Dafs die Erscheinungen qualitativ in dieser Weise verlaufen müssen, zeigt die Berechnung eines ideellen Falles, dem sich die faktischen Versuchsbedingungen hinlänglich genau anschliefsen.

Wird ein in sich geschlossener linearer Leiter in einem magnetischen Felde bewegt, so durchfliefst ihn in positiver Richtung eine Elektrizitätsmenge, welche proportional ist der Abnahme von $\Sigma\, m\, \omega$, wo m eine magnetische Masse und ω der körperliche Winkel ist, unter welchem die negative Seite des Leiters von dem Orte derselben gesehen wird und die Summe über alle magnetische Massen zu erstrecken ist.

Wir denken nun die Spule ersetzt durch eine einfach gekrümmte Strombahn, die die sehr kleine Fläche f umschliefst, in einer durch O senkrecht zur Ebene des Ringes gelegten Ebene $O\,M$ und jeden Magnet durch zwei Pole, von denen wir nur die dem Ringe zunächst gelegenen P und P' berücksichtigen (Fig. 3).

Bezeichnen wir dann die in positiver Richtung auf der Ebene des Leiters errichtete Normale mit $M\,T$, die magnetischen Massen in

Fig. 2.

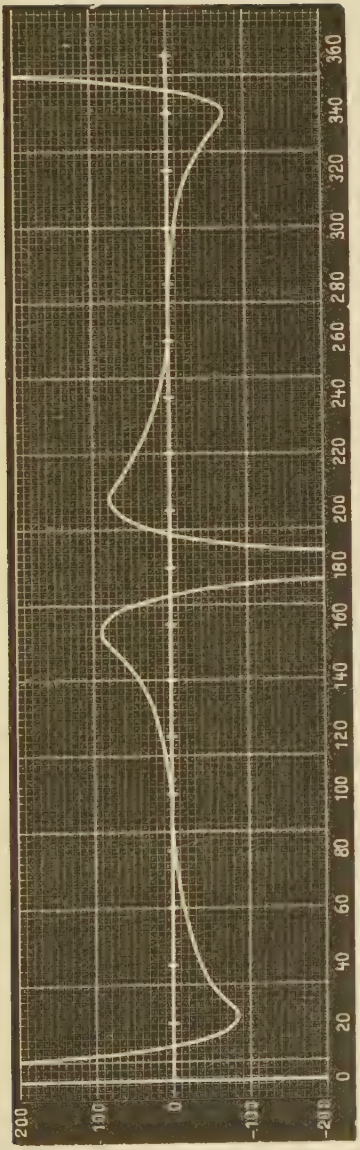

200
100
0
-100
-200
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300
320
340
360

Tabelle I.

Holzring ohne Polschuhe.

	A. ohne Einlage				B. mit Scheibe				C. Magnete *N*, *N*				D. Magnete *N*, *S*			
	0	90	180	270	0	90	180	270	0	90	180	270	0	90	180	270
	—90	—180	—270	—360	—90	—180	—270	—360	—90	—180	—270	—360	—90	—180	—170	—360
0	559	—532	—	556	543	—511	—	539	565	—548	—	564	510	—493	—	508
5	318	—258	—329	369	299	—235	—300	313	331	—275	—344	353	261	—188	—259	268
10	30	—12	—49	38	17	?	—29	—22	65	—47	—88	70	—34	76	25	—25
15	—59	67	54	—56	—77	84	63	—66	—9	11	?	?	—145	176	149	—147
20	—80	83	77	—74	—93	92	89	—85	—43	45	37	—42	—145	123	126	—112
25	—75	84	72	—68	—82	86	84	—73	—69	84	68	—64	—74	69	50	—69
30	—61	73	65	—53	—64	76	66	—55	—74	82	81	—64	—33	36	28	—22
35	—46	58	53	—48	—49	63	54	—48	—66	77	68	—59	—14	30	16	—12
40	—40	45	43	—32	—37	50	46	—23	—54	65	59	—43	—10	14	11	—5
45	—34	33	34	—22	—31	37	30	—16	—49	53	53	—29	—8	11	9	?
50	—24	23	28	—14	—24	22	26	—9	—34	35	38	—18	?	?	?	?
60	—18	17	17	—9	—17	15	14	—5	—28	21	22	—12	?	?	?	?
70	—8	8	9	—6	—5	6	6	—4	—13	12	13	—9	?	?	?	?
80	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

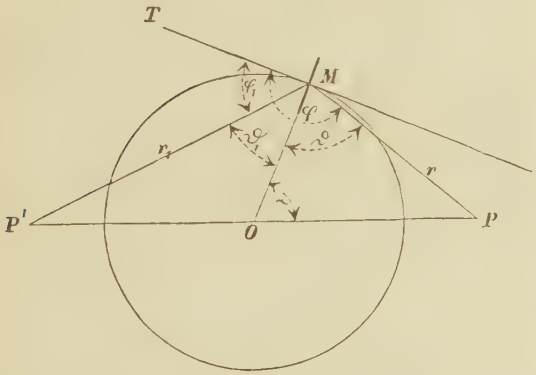
den Polen P und P' mit m und $-m$ und setzen:

$$MP = r \quad MP' = r_1,$$
$$OM = 1 \quad OP = OP' = p,$$
$$\angle PMT = \varphi \quad \angle P'MT = \varphi_1,$$
$$\angle OMP = \mathfrak{P} \quad \angle OMP' = \mathfrak{P}_1 \quad \angle MOP = \alpha,$$

so ist:

$$\Sigma m\omega = mf\frac{\cos\varphi}{r^2} - mf\frac{\cos\varphi_1}{r_1^2}.$$

Fig. 3.



Hierin ist:

$$r^2 = 1 + p^2 - 2p\cos\alpha,$$
$$r_1^2 = 1 + p^2 + 2p\cos\alpha,$$
$$\cos\varphi = -\sin\mathfrak{P} = -\frac{p\sin\alpha}{(1+p^2-2p\cos\alpha)^{1/2}},$$
$$\cos\varphi_1 = \sin\mathfrak{P}_1 = \frac{p\sin\alpha}{(1+p^2+2p\cos\alpha)^{1/2}},$$

also:

$$\Sigma m\omega = -mfp\left[\frac{\sin\alpha}{(1+p^2-2p\cos\alpha)^{3/2}} + \frac{\sin\alpha}{(1+p^2+2p\cos\alpha)^{3/2}}\right].$$

Bei einer sehr kleinen Drehung des Leiters um O wird folglich ein Integralstrom induzirt proportional mit:

$$-\frac{1}{mf}\frac{d\,\Sigma\, m\,\omega}{d\,\alpha} = \frac{p\cos\alpha}{(1+p^2-2\,p\cos\alpha)^{3/2}} - \frac{3\,p^2\sin\alpha^2}{(1+p^2-2\,p\cos\alpha)^{5/2}} + \frac{p\cos\alpha}{(1+p^2+2\,p\cos\alpha)^{3/2}} + \frac{3\,p^2\sin\alpha^2}{(1+p^2+2p\cos\alpha)^{5/2}}.$$

Die Werthe dieses Ausdruckes habe ich für verschiedene Abstände der Magnetpole von einander berechnet und in der Fig. 4 für $p = 0{,}7$, $0{,}8$ und $0{,}9$, sowie in der Fig. 5 für $p = 1{,}1$, $1{,}2$ und $1{,}3$ graphisch aufgetragen. Die Aehnlichkeit dieser Kurven mit der in Fig. 2 gezeichneten tritt augenfällig zu Tage.

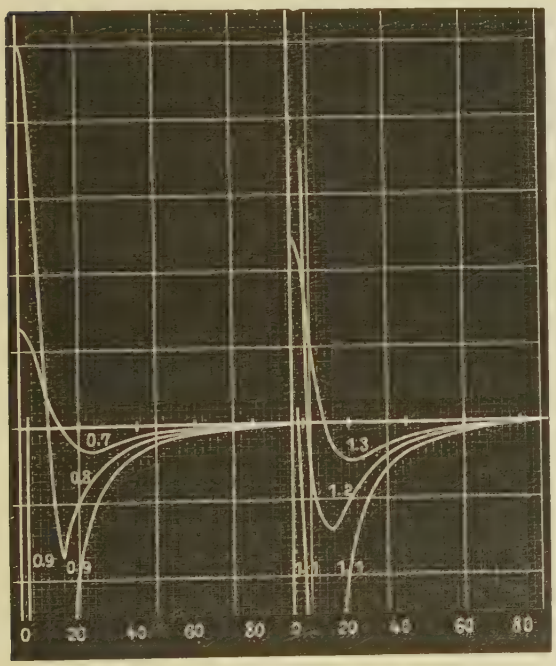
Ebenso wie die Beobachtungen der Kolumne A. (Tab. I) in Fig. 2 sind in Fig. 6 die Beobachtungen der Kolumnen B., C. und D. graphisch dargestellt, wobei die Ordinaten die arithmetischen Mittel aus der an entsprechenden Stellen der vier Quadranten des Holzringes erhaltenen Ausschläge sind. Der Charakter derselben ist im Allgemeinen der gleiche. In jedem Quadranten findet ein Wechsel der Stromrichtung statt, nur variirt die Form und das Gröfsenverhältnifs der Flächenstücke oberhalb und unterhalb der Abszissenaxe, welche Strömen entgegengesetzter Richtung entsprechen.

II. Induktionsspule auf dem Eisenringe.

Die Entfernung der Magnetenden von einander wurde ungeändert beibehalten, ebenso die Entfernung des Ablesefernrohres und des

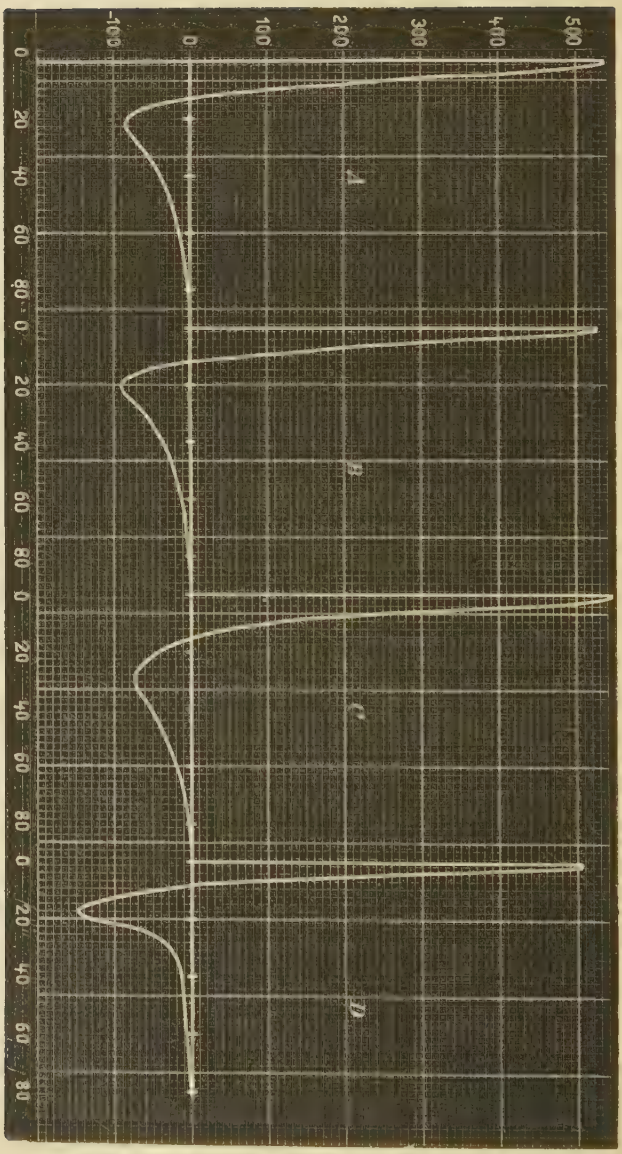
Apparates von dem Galvanometer. Beim Beginn der Beobachtungen mittels der Multiplikationsmethode zeigte es sich, dafs, wenn die Induktionsspule auf o° eingestellt war, schon sehr bald die Schwingungsbogen so grofs wurden,

Fig. 4. Fig. 5.



dafs sie über die Skala hinausgingen. Es wurden daher die Rollen des Galvanometers mehr auseinandergeschoben und die Empfindlichkeit desselben hierdurch auf ein geeignetes Mafs herabgedrückt. Die unter diesen Verhältnissen angestellten Beobachtungen müssen mit einem Faktor multiplicirt werden, um sie auf den Fall,

Fig. 6.


-100
0
100
200
300
400
500
0 20 40 60 80 0 20 40 60 80 0 20 40 60 80 0 20 40 60 80
A
B
C
D

dafs der Abstand der Galvanometerrollen der gleiche wie früher ist, zu reduziren. Dieser Reduktionsfaktor wurde zu 3,0 bestimmt. Die Beobachtungen umfassen nur einen Quadranten. Die Tabelle II. giebt eine Zusammenstellung derselben (die Zahlen sind mit 3,0 zu multipliziren).

Tabelle II.

	Eisenring ohne Polschuhe.			
	A. ohne Einlage.	B. mit Scheibe.	C. Magnete *N, N.*	D. Magnete *N, S.*
0°	679	625	863	457
10	301	254	493	98
20	80	41	220	—65
30	10	—20	83	—68
40	—15	—42	9	—56
50	—24	—41	—18	—43
60	—17	—28	—21	—30
	—11	—16	—10	—19

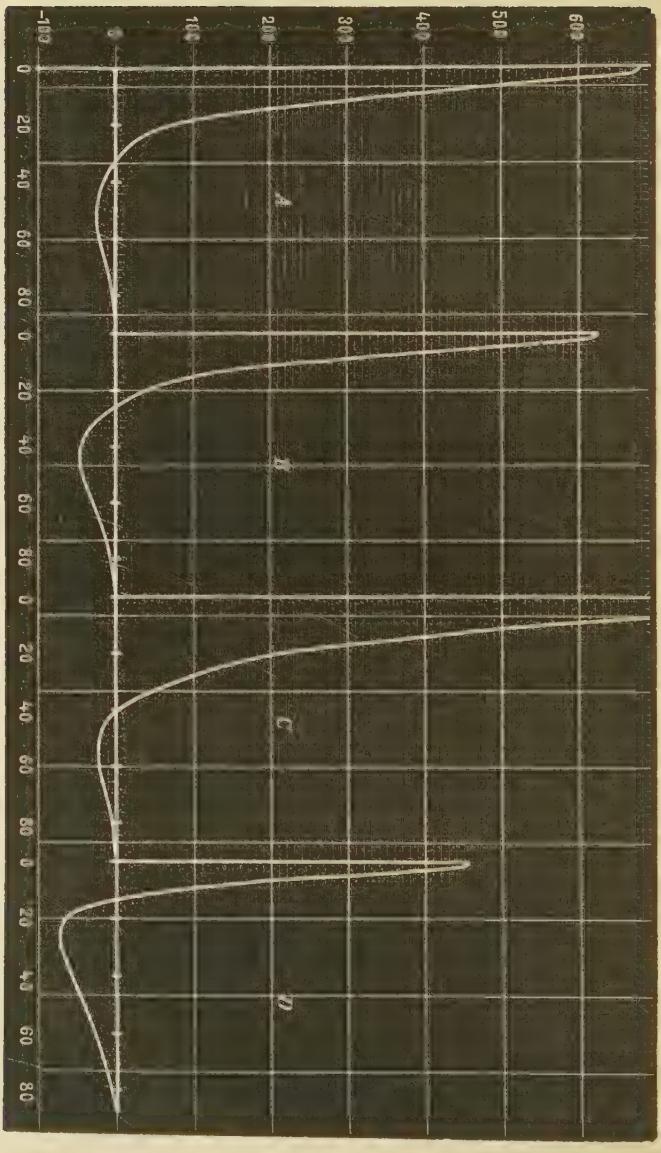
Fig. 7 giebt eine graphische Darstellung derselben. Um diese Kurven mit den früheren (Fig. 6) zu vergleichen, mufs man, wie soeben erwähnt, sich die Ordinaten verdreifacht denken. Die Form der Kurven hat mit der der früheren bei Anwendung des Holzringes einige Aehnlichkeit; auch hier geben die Kurven bei 0° ein Maximum, schneiden die Abszissenaxe zwischen 0° und 90° und erreichen sie bei 90° zum zweiten Male von der negativen Seite her.

§ 5. Versuche mit Polschuhen.

I. Induktionsspule auf dem Holzringe.

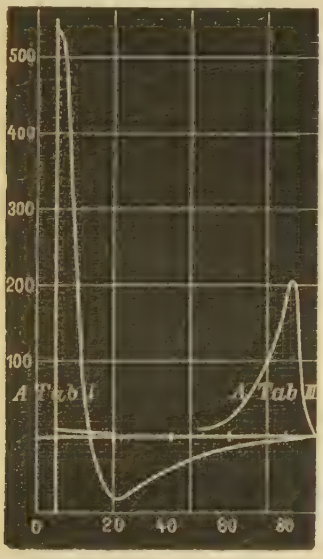
Die Beobachtungen sind in der nachfolgenden Tabelle III zusammengefafst und beschränken sich auf einen Quadranten.

Fig. 7.


-100
0
100
200
300
400
500
600
0 20 40 60 80 0 20 40 60 80 0 20 40 60 80 0 20 40 60 80
A
B
C
D

In Fig. 8 sind zunächst die Beobachtungen der Kolumne A. graphisch dargestellt; zum Vergleich ist die Kurve *A*, Tab. I, beigefügt. Das Maximum der Stromintensitäten liegt jetzt in der Nähe von 80°, tritt also auf, wenn die Induktionsspule sich nahe dem Ende der Polschuhe befindet.

Fig. 8.



Der Magnetismus, welcher früher an den Enden der Magnetstäbe konzentrirt war, wird nach den Enden der beiden Polschuhe hinausgerückt.

In Fig. 9 sind die Kurven der Rubriken A., B., C. und D. gezeichnet. In A. und B. nähern sich die Kurven zwischen 20 und 40° der Abszissenaxe, und es ist namentlich in B. wegen der Unsicherheit der Beobachtungen fraglich, ob innerhalb dieses Intervalles die Kurve die

Abszissenaxe nicht wirklich trifft oder gar schneidet. In C. und D. wirkt der eingelegte Magnet bedeutend modifizirend auf den Verlauf der Kurve ein. In C. erreichen die Kurvenordinaten dreimal, in D. zweimal den Werth Null. In beiden Kurven sind zwei positive und ein negatives Maximum vorhanden, deren Lage aber in beiden Fällen differirt.

Tabelle III.

	Holzring mit Polschuhen.			
	A. ohne Einlage.	B. mit Scheibe.	C. Magnete *N*, *N*.	D. Magnete *N*, *S*.
0	9	8	16	—11
5	7	6	21	—16
10	6	3	28	—35
15	6	—	31	—36
20	4	—	31	—35
25	—	—	12	—20
30	—	—	—10	10
35	—	—	—12	15
40	—	—	—11	20
45	7	—	—	28
50	10	6	—	20
55	12	10	7	16
60	20	13	15	17
65	28	22	29	27
70	70	51	68	59
75	129	107	133	108
80	194	162	196	138
85	48	28	41	40
90	—	—	—	-

II. Induktionsspule auf dem Eisenringe.

Die Beobachtungen umfassen nur einen Quadranten mit Ausnahme des Falles ohne Einlage, wo sie auf die Hälfte des ganzen Ringes ausgedehnt sind. Die Tabelle IV giebt eine Zusammenstellung derselben.

Fig. 9.

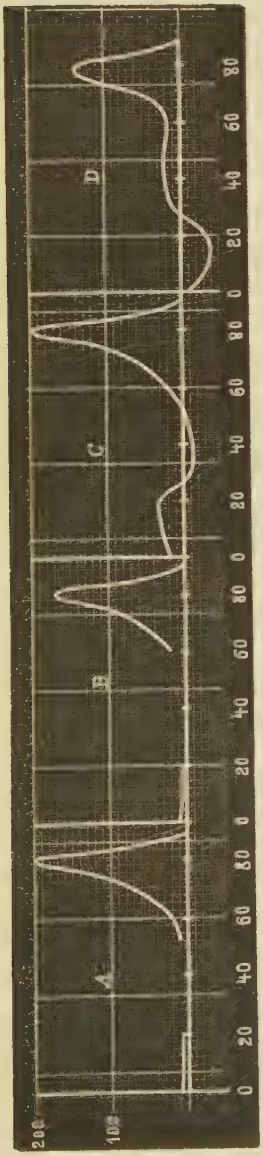


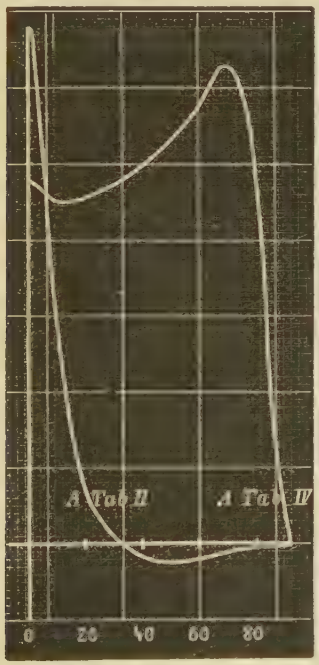
Tabelle IV.

	Eisenring mit Polschuhen.					
	A. ohne Einlage.		Mittel.	B. mit Scheibe.	C. Magnete *N*, *N*.	D. Magnete *N*, *S*.
0	461	488	475	366	981	— 64
5	455	482	469	358	970	— 62
10	447	454	451	345	935	— 48
15	457	453	455	336	907	— 16
20	461	454	458	354	868	64
25	464	458	461	377	783	191
30	470	465	468	384	704	271
35	482	475	479	407	627	358
40	507	479	493	413	567	417
45	524	502	513	435	569	462
50	547	525	536	450	569	502
55	570	544	557	478	564	518
60	589	560	575	533	612	527
65	624	573	599	549	625	561
70	658	593	626	563	658	565
75	656	586	621	582	652	570
80	570	448	509	496	570	507
85	250	185	218	250	281	204
90	—	—	—	—	—	—

Der Einfluſs der Polschuhe zeigt sich hier in ähnlicher Weise, wie in dem Falle vorher. In Fig. 10 ist wieder wie früher die Kurve der Kolumne A. aufgetragen neben der entsprechenden Kurve, welche die Beobachtungen mit dem Holzringe darstellt, während Fig. 11 eine graphische Darstellung der Beobachtungen der Rubriken A., B., C. und D. neben einander giebt. Mit Ausnahme eines kleinen Stückes der Kurve *D* liegen die Kurven ganz oberhalb der Abszissenaxe. Die Pole des eingelegten Magnetes üben wieder einen bedeutenden Einfluſs aus. Wenn der einliegende Magnet bei 0° und 180° gleichnamige Pole hat wie der demselben zugewandte Polschuh bei 75° und 285°

bezw. 105° und 225°, so haben wir bei 0° ein Maximum und ein eben solches, aber kleineres, bei etwa 75°. Im anderen Falle, wo ungleichnamige Pole auf derselben Seite liegen, tritt bei 0° ein negatives Maximum auf und ein

Fig. 10.



positives bei 75°, und zwischen diesen beiden Stellen giebt es bei etwa 20° einen Punkt, wo die Intensität des Induktionsstromes Null ist.

§ 6. Folgerungen aus den Versuchen.

Die Ausschläge des Galvanometers sind, wie schon oben erwähnt, den durch die Drehung der Induktionsspule zwischen den Anschlag-

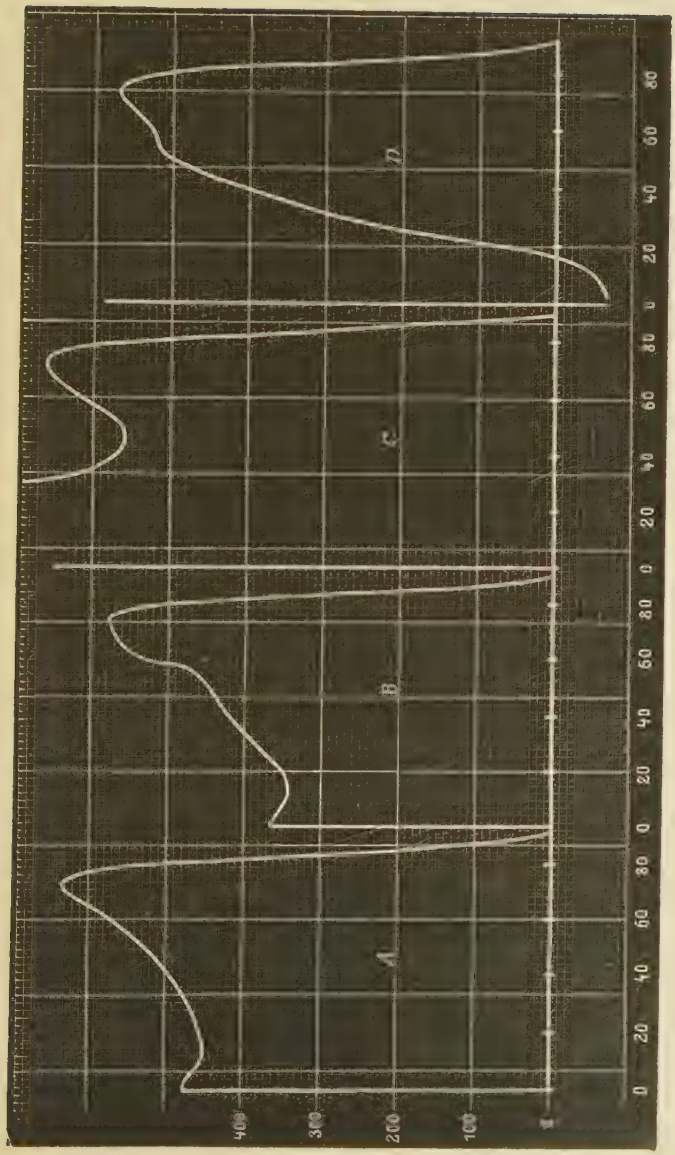
stiften in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmengen proportional; mithin sind in den graphischen Darstellungen der Versuche die Flächenstücke, welche von der Abszissenaxe und den die Endpunkte der Ordinaten zwischen 90° und 270° bildenden Kurve[1]) eingeschlossen werden, proportional der ganzen Elektrizitätsmenge, welche durch Drehung der Spule von 90° bis 270° erzeugt werden würde. Dabei ist indefs zu bemerken, dafs Flächenstücke oberhalb der Abszissenaxe positiven, und solche unterhalb der Abszissenaxe negativen Stromrichtungen entsprechen.

Betrachten wir nun zunächst die Diagramme, welche den Versuchen ohne Polschuhe angehören, so schneiden die Kurven bei 90° und 270° und an zwei dazwischen liegenden Punkten die Abszissenaxe; wir haben mithin zwei Flächenstücke auf der einen und eins auf anderen Seite der letzteren. Würde man also auf dem Ringe wie bei der Gramme'schen Maschine eine Anzahl Spulen anbringen und nur bei 90° und 270° Abnehmer setzen, so würde die elektromotorische Kraft in den einzelnen Spulen verschiedenes Vorzeichen haben und sich theilweise aufheben. Die Intensität des resultirenden Stromes wäre nur der Differenz der Flächenstücke oberhalb und unterhalb der Abszissenaxe proportional. Die Erfahrung hat auch dementsprechend gezeigt, dafs, wenn bei einer Gramme'schen Maschine keine Polschuhe vorhanden sind, die Intensität des erzeugten Stromes sehr gering ist.[2])

[1]) Wir wollen diese Kurve kurz Induktionskurve nennen.

[2]) In den schematischen Darstellungen der Induktion im Pacinotti-Gramme'schen Ring in den Lehrbüchern bleibt indefs der Umstand immer unerwähnt, dafs zwischen 0° und 90° der Strom das Zeichen wechselt.

Fig. 11.


400
300
200
100
0
20
40
60
80
0
20
40
60
80
0
20
40
60
80
0
20
40
60
80
A
B
C
D

Man könnte indefs die Wirkung bei einer Gramme'schen Maschine ohne Polschuhe bereits erheblich vermehren, wenn man nicht blos an den Stellen 90° und 270° Abnehmer anbrächte, sondern auch an den dazwischen liegenden Stellen, an denen ein Wechsel in der Stromrichtung stattfindet. Es müfsten dann also sechs Abnehmer vorhanden sein, und diese wären so zu verbinden, dafs für den aufserhalb der Maschine zu benutzenden Drahtkreis die elektromotorischen Kräfte der Spulen sämmtlich in gleichem Sinne wirken.

Die Versuche, bei denen Polschuhe angewandt sind, zeigen, dafs der wesentliche Nutzen derselben darin besteht, dafs die Schnittpunkte der Kurve mit der Abszissenaxe zwischen 90° und 270° wegfallen, mithin bei der Bewegung der Spule von 90° bis 270° der Strom seine Richtung nicht ändert. Je nach der Form der Polschuhe und ihrer Gröfse wird der Inhalt der Flächenstücke zwischen Abszissenaxe und Induktionskurve sich ändern; wie die weiter unten folgenden Versuche mit der Grammeschen Maschine zeigen werden, dürfte die Praxis wohl schon die geeignetste Form der Schuhe gefunden haben.

Schliefslich sei noch hervorgehoben, dafs durch die Anbringung eines Magnetes im Innern des Ringes, wenn den Polen des inneren Magnetes gleichnamige der äufseren gegenüberstehen, die von der Abszissenaxe und der Induktionskurve eingeschlossene Fläche bedeutend vergröfsert wird. Dementsprechend würde auch bei der Gramme'schen Maschine die Anbringung eines Magnetes in der angegebenen Lage im Innern des Ringes die Wirksamkeit der Maschine bedeutend erhöhen.

§ 7. Versuche mit der Gramme'schen Maschine.

Nachdem die vorstehenden Resultate erhalten waren, habe ich versucht, bei einer wirklichen dynamoelektrischen Maschine die Induktion in einer einzelnen Spule an den verschiedenen Stellen ihrer Bahn zu untersuchen.

Die Versuche konnten nur in der Weise angestellt werden, dafs der Stromkreis der Maschine aufsen durch einen gegebenen Widerstand geschlossen wurde und gleichzeitig eine Zweigleitung auf dem Kollektor angebracht wurde, welche die Enden einer Spule an einer bestimmten Stelle während der Rotation verband. Diese Zweigleitung mufste nach einander an die verschiedenen Stellen des Umfanges des Kollektors angelegt werden können.

Wird dann die Stromintensität in dem Hauptkreis und ebenso diejenige im Nebenschlufs, welche die einzelne Spule enthält, gemessen, sind die sämmtlichen Widerstände in und aufserhalb der Maschine, im Hauptkreis und im Nebenschlufs bekannt, so läfst sich daraus die elektromotorische Kraft im gesammten Ring und in der Spule nach bekannten Regeln ermitteln.

Zur Untersuchung stand mir eine Gramme'sche Maschine type d'atelier zur Verfügung. Dieselbe, aus dem Atelier von Ducommun in Mülhausen, entspricht genau der Abbildung »Schellen, magnet- und dynamoelektrische Maschinen«, Fig. 69. Der rotirende Ring hatte 60 Spulen. Die Drehung desselben wurde durch einen Gasmotor von 4 Pferdestärken besorgt. Es soll zunächst angegeben werden, wie an einer bestimmten Stelle des Ringes die Zweigleitung angebracht wurde.

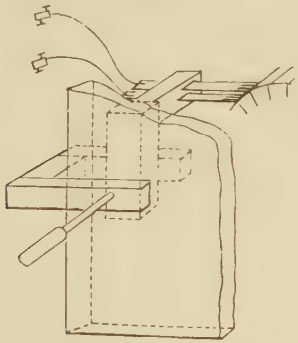
Während die Abnehmerbürsten in diametral entgegengesetzter Lage gegen den Kollektor schleiften, liefs ich gleichzeitig zwei ebenso breite und vorn ausgefranste Kupferbleche so wider die Kupferstreifen des Kollektors andrücken, dafs dieselben gleichzeitig über zwei benachbarte Isolirstellen wegglitten. Dieselben liegen also entweder auf zwei benachbarten Kupferstücken oder Isolirstellen auf. Die Kupferbleche waren in ein festes Holzstück eingelassen, Fig. 12, welches durch eine Holzklemme an den Backen der Elektromagnete angeschraubt werden konnte, und es war möglich, dieselben innerhalb eines Quadranten des Kollektors an allen verschiedenen Stellen mit den Kupferstreifen desselben in Berührung zu bringen. An die nicht gegen die Kollektorstreifen andrückenden Enden der Kupferbleche waren dicke Kupferdrähte angelöthet, welche mittels Klemmschrauben mit Leitungsdrähten verbunden werden konnten.

Um die Kupferbleche nach einander auf die Spulen eines Quadranten des Kollektors einzustellen, verfuhr ich folgendermafsen: Ich stellte den Ring so, dafs die Enden der Abnehmerbürsten mit einer Isolirstelle zusammenfielen, nannte diese Isolirstelle 0, die nächste 1, 2, 3 u. s. w., und stellte nun mittels der Holzklemme die Kupferbleche der Reihe nach so, dafs sie zur Berührung kamen mit den Isolirstellen 0 und 1, 1 und 2, 2 und 3 u. s. w. bis 14 und 15. Es konnte also der Strom, der bei der Rotation des Ringes in einer Spule entsteht, innerhalb eines Quadranten in 15 verschiedenen Positionen der Spule abgeleitet werden.

Die Versuche selbst wurden folgendermafsen ausgeführt: Von den Klemmen der Maschine

führte ich eine geschlossene Leitung, in welche aufser einem Deprez'schen Galvanometer noch zwei Widerstandsrahmen eingeschaltet waren; jeder dieser Widerstandsrahmen enthielt drei Spiralen von Neusilberdraht, welche mittels Stöpselvorrichtung sämmtlich oder zum Theil in die Leitung eingeschaltet werden konnten. In die Nebenleitung, welche von den beiden Kupferblechen ausging, war ein feineres Galvanometer sowie ein grofser Flüssigkeitswiderstand

Fig. 12.



eingeschaltet, der so grofs gewählt war, dafs durch ihn der Ausschlag der Galvanometernadel auf ein geeignetes Mafs herabgedrückt wurde. Es wurden dann für jede Stellung der Kupferbleche, während die Maschine rotirte, drei Ablesungen der beiden Galvanometer vorgenommen, und zwar für die Fälle:

1. dafs in der Hauptleitung sämmtliche Spiralen der zwei Widerstandsrahmen,
2. dafs alle mit Ausnahme der ersten von I,
3. dafs alle mit Ausnahme der ersten und zweiten von I eingeschaltet waren.

Um die Stromstärken im Hauptstrom und in dem Nebenschlufs in gleichem Mafse zu haben, ist es nöthig, die Angaben des einen Galvanometers auf die des anderen zu reduziren. Durch eine besondere Untersuchung, die ausführlich anzugeben unnöthig ist, wurde eine Reduktionstabelle für die Galvanometerausschläge ermittelt und wurden die Angaben des Galvanometers in der Nebenleitung auf Angaben des Deprez reduzirt.

Die Ausschläge des Deprez'schen Galvanometers sind den Stromstärken wenigstens für die hier vorliegenden Zwecke hinreichend genau proportional. 1° Ausschlag des Deprez'schen Galvanometers entspricht einer Stromstärke von 0,75 Ampère.

Die nachstehende Tabelle V giebt nun die Resultate der erwähnten, an der Maschine ausgeführten Beobachtungen.

Tabelle V.[1])

	i I.	$\mathcal{J}$	i II.	$\mathcal{J}$	i III.	$\mathcal{J}$
	0,000		0,000		0,000	
0— 1	01 310	20,0	00 324	23,0	00 090	26,5
1— 2	02 462	20,5	01 227	23,3	00 165	26,7
2— 3	03 565	20,5	02 234	23,1	00 655	26,5
3— 4	05 798	20,3	04 520	23,2	02 798	26,3
4— 5	07 851	20,2	06 839	23,2	05 412	26,7
5— 6	09 235	20,3	08 492	23,5	07 146	26,8
6— 7	10 281	20,2	09 572	23,3	08 212	26,7
7— 8	13 515	20,2	13 158	23,2	12 199	27,0
8— 9	13 953	20,2	13 861	23,2	13 158	27,0
9—10	14 395	20,0	14 395	23,1	13 158	26,8
10—11	15 485	19,8	15 626	22,8	15 062	26,5
11—12	15 626	18,5	15 626	21,5	15 272	25,2
12—13	16 235	19,0	17 953	22,0	16 007	25,8
13—14	18 569	19,0	19 071	22,0	18 338	25,1
14—15	20 013	19,5	20 724	23,0	19 617	26,0

[1]) Es ist zu bemerken, dafs der positive Strom in der Nebenleitung (vgl. Fig. 13) von G über H nach F, während er in der Hauptleitung von A über C nach F geht.

Aus diesen Beobachtungen ist zunächst das Verhältnifs der elektromotorischen Kraft der jedesmal abgezweigten Spule zu der gesammten des rotirenden Ringes zu berechnen.

Das untenstehende Schema (Fig. 13) zeigt die gesammte Stromanordnung: $A\,C\,B\,D$ sei die in sich geschlossene Drahtleitung des Grammeschen Ringes; die Abnehmerbürsten liegen in A und B an. $A\,C\,B$ enthält 30 Spulen und ebenso $A\,D\,B$.

Die elektromotorischen Kräfte der Spulen in $A\,C\,B$ sind denen in $A\,D\,B$ entgegengesetzt. Die Bürsten in A und B sind ihrerseits durch eine geschlossene Leitung verbunden. Die Leitung enthält:

1. die Umwindungen der festen Magnete der Maschine $0{,}62$ S.-E.,
2. das Deprez'sche Galvanometer $0{,}02$ S.-E.,
3. die oben erwähnten Widerstandsrahmen,
4. Leitungsdrähte $0{,}073$ S.-E.

Widerstände der zwei Rahmen:

I.	$0{,}64$	S.-E.,
	$0{,}67$	-
	$0{,}75$	-
	$2{,}06$	S.-E.
II.	$0{,}40$	S.-E.
	$0{,}38$	-
	$0{,}42$	-
	$1{,}20$	S.-E.

Es betrugen daher die Widerstände in der Hauptleitung in den drei Beobachtungsreihen:

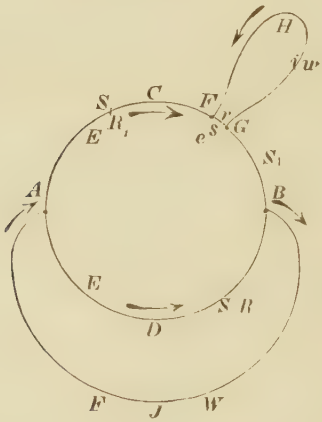
$$W = 3{,}97, \quad 3{,}33, \quad 2{,}66.$$

An einer bestimmten Stelle von $A\,C\,B$ sei nun eine Zweigleitung H in den Punkten F und G angebracht. Zwischen F und G befinde sich eine Spule des Ringes.

In der Zweigleitung *H* befindet sich aufser den nöthigen Zuleitungsdrähten das zweite Galvanometer und, da mir kein hinreichend grofser Drahtwiderstand zur Verfügung stand, der oben erwähnte Flüssigkeitswiderstand. Derselbe war folgendermafsen eingerichtet:

Zwei mit durchbohrten Stopfen versehene Gläser waren zur Hälfte mit einer 20proz. Lösung von schwefelsaurem Zink (wasserfreies

Fig. 13.



Salz) gefüllt; die Lösungen in beiden Gläsern standen durch ein durch die Stopfen gehendes, ebenfalls mit derselben Lösung gefülltes Glasröhrchen in Verbindung; in die Flüssigkeit beider Gläser tauchten amalgamirte Zinkplatten ein, an die oben Kupferdrähte angelöthet waren; an letztere konnten Leitungsdrähte mit Klemmschrauben angeschlossen werden. Der Widerstand dieser Flüssigkeitssäule wurde mit der Wheatstone'schen Brücke durch Vergleichung mit 10000 S.-E. ermittelt zu 22270 S.-E.

Derjenige des Galvanometers betrug 62 S.-E., und der der Zuleitungsdrähte 0,35 S.-E., so dafs der Gesammtwiderstand des Nebenschlusses rund 22 332 S.-E. ausmachte.

Es möge nun bezeichnet werden (vgl. Fig. 13):

die elektromotorische Kraft in jeder der Ringhälften mit E;

die in der abgezweigten Spule mit e;

die Stromintensität im Hauptschlufs mit J;

der zugehörige Widerstand mit W;

die Stromintensität im Nebenschlufs mit i;

der zugehörige Widerstand mit w;

die Stromintensität in der Hälfte des Ringes, in der sich keine Abzweigung befindet, mit S;

der Widerstand mit R;

die Stromintensität in der abgezweigten Spule mit s;

der Widerstand derselben mit r;

die Stromintensität in der Ringhälfte, welche die Spule enthält, mit S_1;

der zugehörige Widerstand mit R_1.

Es ist dann nach den Kirchhoff'schen Regeln:

$$\begin{aligned} J.W + SR &= E, \\ s.r - i.w &= e, \\ S_1 R_1 + sr - SR &= o, \\ J &= S + S_1, \\ S_1 &= i + s. \end{aligned}$$

Aus diesen fünf Gleichungen erhält man:

$$\frac{e}{E} = \frac{i\left(\frac{r^2}{R} - 2r - 2w\right) + Jr}{-ir + J(2W + R)}.$$

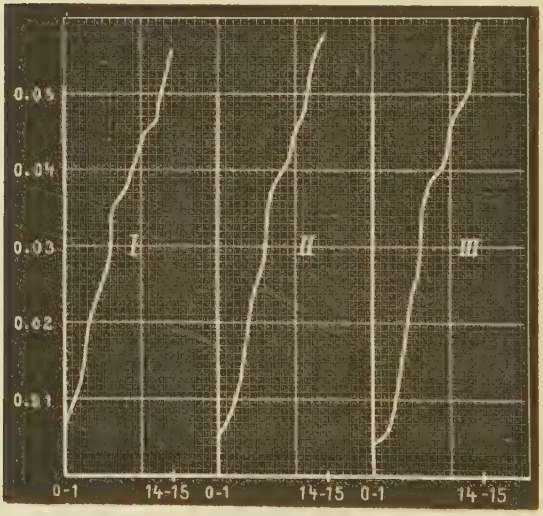
Unter den Bedingungen des Versuches, wo w sehr grofs gegen die übrigen Widerstände war,

weicht dieser Ausdruck um keine meſsbare Gröſse ab von dem einfacheren:

$$\frac{e}{E} = \frac{r - \frac{i}{J} \cdot 2w}{R + 2W}.$$

Nach dieser Formel sind nun aus den Beobachtungen der Tabelle V die Verhältnisse $\frac{e}{E}$ berechnet. [1])

Fig. 14.



Ich stelle noch für die drei Beobachtungsreihen die Werthe der Konstanten des obigen Ausdruckes zusammen:

[1]) Die Werthe i müssen (vgl. die Bemerkung S. 365) mit Ausnahme des ersten der Rubrik III. mit negativem Zeichen eingeführt werden.

	I.	II.	III.
$w =$	22 332	—	—
$r =$	0,0287	—	—
$R =$	0,860	—	—
$W =$	3,97	3,33	2,66.

In Tabelle VI sind die Resultate dieser Rechnungen zusammengestellt. Die erste Rubrik enthält die Angabe, auf welche Kupferstreifen des Kollektors die Abnehmer des Nebenschlusses eingestellt waren:

Tabelle VI.

	I.	II.	III.
0— 1	0,006 59	0,004 66	0,004 40
1— 2	0,009 35	0,006 94	0,005 10
2— 3	0,012 10	0,009 56	0,006 43
3— 4	0,017 76	0,015 39	0,012 33
4— 5	0,022 99	0,021 33	0,019 30
5— 6	0,026 36	0,025 78	0,023 92
6— 7	0,029 09	0,028 22	0,026 88
7— 8	0,037 22	0,037 51	0,037 30
8— 9	0,038 32	0,039 31	0,039 87
9—10	0,039 80	0,040 84	0,040 15
10—11	0,042 96	0,044 52	0,045 73
11—12	0,046 14	0,047 00	0,048 46
12—13	0,046 65	0,052 30	0,049 49
13—14	0,052 88	0,055 31	0,057 45
14—15	0,055 37	0,057 35	0,059 19
	0,483 58	0,486 02	0,476 00.

Fig. 14 giebt eine graphische Darstellung der in der vorstehenden Tabelle gegebenen Resultate. Die Abszissen der Kurven geben die Bezeichnung der jedesmal abgezweigten Spule des untersuchten Quadranten des Kollektors, und die Ordinaten die für die verschiedenen

Positionen der Spule innerhalb dieses Quadranten geltenden Verhältnifszahlen $\frac{e}{E}$.

Die Induktionskurven fallen von der Spule 14—15 zu derjenigen 0—1 ziemlich gleichmäfsig ab. Durch die Form der Polschuhe der Gramme'schen Maschine ist also nahezu der Verlauf der Induktionskurve thatsächlich erreicht, welcher gewöhnlich in Lehrbüchern der Elektrotechnik für die Induktion in einem Ringe zwischen den Polen zweier Magnete irrthümlich angegeben wird.

Die Zahlen der Tabelle VI können übrigens auf grofse Genauigkeit keinen Anspruch machen, da man nicht sicher ist, dafs die Kupferstreifen, welche den Zweigstrom von dem Kollektor ableiten, immer in gleicher Weise an dem letzteren anliegen und überdies die Abnehmerbürsten nicht nur an einem, sondern gleichzeitig an mehreren Kupferstreifen des Kollektors anliegen.

Diese beiden erwähnten Umstände sind auch die Ursache, dafs die Summe der Rubriken der Tabelle VI nicht 0,5, sondern etwas kleiner, im Mittel 0,48 ist.

Im vorliegenden Falle kam es nur darauf an, den Verlauf der Induktionskurve zu erhalten; hierzu genügen die Versuche der Tabelle V hinreichend.

Lebenslauf.

Ich, Johann, Wilhelm, August Isenbeck, Sohn des Zoll-Inspektors a. D. Carl Isenbeck und Caroline geb. Zimmermann, wurde am 4. August 1856 zu Wiesbaden geboren. Nachdem ich die Volksschule und darauf die Realschule II. O. zu Idstein, wohin mein Vater im Jahre 1860 übergesiedelt war, bis zum Jahre 1869 besucht hatte, erhielt ich meine weitere Ausbildung auf dem humanistischen und dann auf dem Realgymnasium zu Wiesbaden; ich verliefs das letztere im Frühjahr 1875 mit dem Zeugnifs der Reife. Darauf beschäftigte ich mich, in der Absicht, später Baufach zu studiren, $1\frac{1}{2}$ Jahr lang auf dem Königlichen Eisenbahn-Baubureau zu Wiesbaden, während ich gleichzeitig meiner Militairpflicht genügte. Ich entschlofs mich dann zum Studium der Naturwissenschaften und wurde im Herbst 1876 an der Universität zu Strafsburg immatrikulirt. Im Frühjahr 1878 verliefs ich Strafsburg und besuchte

darauf je ein Semester die Universitäten Heidelberg und Berlin. Von dort kehrte ich nach Straſsburg zurück, um meine Studien zu Ende zu führen.

Während meiner Studienzeit habe ich Vorlesungen folgender Herren Professoren besucht:

in Straſsburg: de Bary, Kundt, Christoffel, Bennecke, Reye, Groth, Winnecke, Fittig, Rose, Roth, Götte, Netto, Gerland, Laas, Liebmann;

in Heidelberg: Quincke;

in Berlin: Peters, Websky, Förster und Arzruni.

Ich arbeitete ferner zwei Semester lang im chemischen Laboratorium zu Straſsburg, ein Semester im physikalischen Institut zu Heidelberg, vier Semester auf der Sternwarte zu Straſsburg und während dreier Semester im physikalischen Institut ebendaselbst.

Ich ergreife die Gelegenheit, allen meinen verehrten Herren Lehrern hiermit meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.